

programa de manejo, mejoramiento y utilización del germoplasma de maíz en el cimmyt

S.K. Vasal, A. Ortega C. y S. Pandey



**programa
de manejo, mejoramiento y utilización
del germoplasma de maíz en el cimmyt**

S.K. Vasal, A. Ortega C. y S. Pandey

**CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO
(CIMMYT)**

resumen

En este artículo se discuten alternativas para mejorar la planta de maíz. Si bien los maíces híbridos predominan en el mundo desarrollado, las variedades de polinización libre se cultivan mayormente en los países en vías de desarrollo. El presente trabajo hace hincapié en el mejoramiento de poblaciones de maíz. Los procedimientos de mejoramiento poblacional no sólo mejoran la población para desarrollar variedades superiores sino que también incrementan las oportunidades de extraer líneas superiores con las cuales se pueden hacer mejores combinaciones para formar híbridos. Se abordan aquí los avances en el desarrollo de métodos para el mejoramiento poblacional del maíz. También se discuten brevemente algunos de los esquemas importantes de mejoramiento poblacional, tales como la selección recurrente. Se mencionan, además, el diseño 1 de Griffin y algunos esquemas de selección familiar tales como hermanos completos, medios hermanos y "S₁".

Se presenta el programa de mejoramiento de maíz del CIMMYT en el cual se incluyen las funciones, estructura y actividades de investigación en la Unidad Avanzada, la Unidad de Apoyo, el Programa de Calidad Proteínica y el de Proyectos Especiales. La Unidad de Apoyo maneja el banco de germoplasma y los complejos germoplásmicos. Un total de 29 complejos germoplásmicos se están mejorando continuamente mediante el procedimiento de medios hermanos. El manejo de dichos complejos se discute señalándose el tamaño de la población utilizada, la selección en hileras de machos y hembras antes y después de la floración, la presión de selección entre y dentro de familias, selección por resistencia a insectos y patógenos, el proceso para mayor adaptación, e introgresión de nuevo germoplasma en los complejos.

Se señalan las diversas operaciones en la Unidad Avanzada tanto con poblaciones de maíces normales como con poblaciones de maíz con calidad proteínica (MCP). El esquema de mejoramiento mediante hermanos completos que se aplica a cada población. Se discuten igualmente las varias etapas en el mejoramiento poblacional tales como la regeneración de las progenies, la evaluación de las progenies y el mejoramiento intrafamiliar durante los ciclos intervinientes. Además, como consecuencia del esquema que se sigue en el mejoramiento poblacional, se desarrollan variedades experimentales para cada sitio en que se efectúa la prueba de progenies y una variedad experimental a través de los sitios considerados, para lo cual se usan aproximadamente 10 familias con el mejor comportamiento. Las variedades experimentales se evalúan en ensayos de variedades experimentales ("EVT's"). A su vez, las variedades experimentales con el mejor comportamiento se designan como variedades élite y vuelven a evaluarse en los llamados ensayos de variedades experimentales élite ("ELVT").

Se describe en este documento el esfuerzo que se dedica a atributos especiales tales como precocidad, resistencia al mildiú vellosa o cenicilla, al achaparramiento y al virus del rayado del maíz. En los complejos germoplásmicos y en las poblaciones también se desarrollan trabajos genotécnicos sobre resistencia al gusano cogollero, al elotero y a los barrenadores. Se presenta igualmente la técnica de utilizar larvas en el lugar de masas de huevecillos, y se describen brevemente los trabajos de campo con respecto a la resistencia a insectos.

Se discuten luego los problemas encontrados en el desarrollo de maíz con calidad proteínica y la estrategia genotécnica utilizada para acumular y explotar los genes modificadores para endosperma cristalino. Se presenta el esfuerzo desplegado para el desarrollo del germoplasma y la metodología genotécnica para lograr los maíces con calidad proteínica y se dan los rasgos sobresalientes del proceso de conversión. Se justifica el desarrollo de los complejos de maíz con calidad proteínica, así como su formación y su manejo. Luego se presenta la evidencia experimental que muestra los avances en los complejos y el comportamiento de los materiales con calidad proteínica en los ensayos internacionales.

PROGRAMA DE MANEJO, MEJORAMIENTO Y UTILIZACION DEL GERMOPLASMA DE MAIZ EN EL CIMMYT*

S.K. Vasal, A. Ortega C. y S. Pandey**

Importancia del mejoramiento poblacional

La planta del maíz permite el mejoramiento genético tanto mediante procedimientos de endogamia como mediante cruzamientos. Estos procedimientos dan alternativas a los fitomejoradores para el desarrollo de tipos de maíz dentro de dos categorías amplias: (1) formas híbridas, que incluyen cruza simples, cruza triples, cruza dobles, cruza de mestizos e híbridos varietales, y (2) poblaciones de polinización libre, en la forma de variedades criollas (locales) o mejoradas, que pertenecen a razas en particular, compuestas de amplia base, sintéticos, y generaciones avanzadas de cruza varietales.

El desarrollo y el mejoramiento de estos materiales, sin embargo, involucran enfoques genotécnicos diferentes. Por ejemplo, en muchos países desarrollados del mundo donde la industria de las semillas híbridas está muy evolucionada, los híbridos cubren una gran parte de la superficie maicera. Por consiguiente, en estos países el esfuerzo investigativo principal se orienta hacia el desarrollo de maíces híbridos, en tanto que se dedica menos esfuerzo al mejoramiento poblacional.

La situación en la mayoría de los países en desarrollo es, sin embargo, bastante diferente. La industria de las semillas híbridas o no existe o no desempeña un trabajo adecuado en cuanto a la producción y distribución de las semillas. Igualmente, suele carecerse de cooperación entre los sectores público y privado, los cuales compiten en vez de complementar sus esfuerzos.

Las dificultades en la producción y distribución de semillas ha impedido que muchos países inicien programas genotécnicos laboriosos y costosos de desarrollo de híbridos. Así, en un proceso evolutivo hacia la producción de híbridos, los esquemas de mejoramiento estructurados para mejorar poblaciones y desarrollar variedades de polinización libre parecieran ser un enfoque lógico para muchos países en desarrollo.

Con variedades de polinización libre, la distribución de semilla puede hacerse de manera más rápida, facilitada mucho por el movimiento de semillas entre los propios agricultores. Los programas nacionales con infraestructura apropiada se pueden movilizar luego hacia un programa de producción de maíces híbridos.

El mejoramiento poblacional del maíz, es fundamental y conduce al desarrollo de híbridos cada vez mejores. Las mejoras hechas en las poblaciones de maíz a través de diversos esquemas interpoblaciones e intrapoblaciones se pueden explotar redituablemente al derivar nuevas líneas superiores. Conforme se mejora continuamente la base genética del material, hay oportunidades de extraer nuevas y mejores líneas en cada ciclo de mejoramiento. Por consiguiente, los programas de mejoramiento poblacional son necesarios si el desarrollo de híbridos ha de mantener ganancias consistentes a largo plazo. Esto no significa, sin embargo, que excelentes híbridos no se hayan desarrollado en el pasado. Por el contrario, se ha regis-

* Una versión anterior de este documento fue presentada en la XV Reunión de la Sociedad Caribeña de Cultivos Alimenticios en Paramaribo, Surinam, Noviembre 13-18, 1978, bajo el título de Mejoramiento Poblacional y Desarrollo Varietal en el Programa de Maíz del CIMMYT.

** Científicos del Programa de Maíz del CIMMYT, El Batán, Edo de México, México.

trado un notable avance aún sin el uso de los esquemas clásicos de mejoramiento poblacional (Duvik, 1977). Se reporta que gran parte de la ganancia en los híbridos actualmente cultivados se ha obtenido a partir del mejoramiento de líneas endogámicas sobresalientes, mediante el método de pedigrí; y que las ganancias obtenidas al aplicar esquemas de selección recurrente a varios sintéticos de Iowa han sido similares. También se han utilizado otros métodos para el mejoramiento de líneas endogámicas, los cuales han sido reseñados por Bauman (1977).

Independientemente de los objetivos, el mejoramiento poblacional en el maíz puede desempeñar dos papeles importantes. Las mejoras hechas en poblaciones mediante esquemas intrapoblacionales: (1) amplían el valor de la población para el uso directo e inmediato, y (2) incrementan su utilidad para el desarrollo de nuevas líneas como progenitores potencialmente de maíces híbridos. Se ha generado suficiente información para aceptar que el mejoramiento poblacional incrementa el comportamiento esperado de híbridos a un grado mayor que el muestreo repetido de la misma población base que se ha aplicado en el enfoque clásico de endogamia e hibridación. Muchos mejoradores lo advierten así y se espera que aumentará el número de programas que consideren simultáneamente y en forma equilibrada el desarrollo y mejoramiento de poblaciones como base al desarrollo y mejoramiento de líneas endogámicas.

Métodos de Mejoramiento de Poblaciones de Maíz

En las dos últimas décadas, se ha generado un gran interés en el desarrollo y mejoramiento de poblaciones de maíz. Aunque los intentos anteriores de mejorar los materiales de maíz mediante selección masal tuvieron poco éxito, se ha registrado un progreso notable en años recientes. El hecho de no haber logrado avances significativos por medio de selección masal, puede atribuirse quizás a un control genético insuficiente y a técnicas de campo inadecuadas.

En la década de los cuarentas resurgió el interés en la genética cuantitativa y desde entonces se ha acumulado una gran cantidad de valiosa información. Mucho de este renovado interés en el mejoramiento de poblaciones proviene de los estudios de genética cuantitativa en el maíz. Varios estudios empíricos han revelado que la varianza genética aditiva para rendimiento y otros atributos en poblaciones heterocigotas de maíz es muy elevada y predominante. Tal información respalda la efectividad de diversos esquemas de mejoramiento genético intrapoblacional para mejorar el comportamiento de las poblaciones de maíz. Los avances de la genética cuantitativa también han ayudado a los fitomejoradores a entender los tipos de acción genética involucrados en la expresión de diferentes caracteres del maíz que se hallan bajo control poligénico. Este tipo de información es de considerable importancia para el fitomejorador cuando éste elige entre los varios esquemas genotécnicos conocidos.

El genetista cuantitativo también ha ayudado al fitomejorador a predecir las ganancias genéticas que aportan los diversos tipos de esquemas de selección. Los estudios con diferentes esquemas de selección han revelado una buena concordancia entre las ganancias pronosticadas y las obtenidas. Los resultados de dichos estudios han sido reseñados por Gardner (1976) y Eberhart (1976).

En esta ocasión solo presentamos un relato breve de los avances en los métodos de mejoramiento poblacional. Uno de los métodos más sencillos y más antiguos es la selección masal. La selección masal explota los efectos genéticos aditivos y las interacciones epistáticas que involucren solamente efectos genéticos aditivos. Varios investigadores han utilizado con éxito este método (Johnson, 1963; Gardner, 1961, 1973, 1976). La selección masal puede ser efectiva para los caracteres que son altamente heredables y que se pueden identificar antes de la floración, tales como altura de planta, floración, susceptibilidad al tizón de la hoja del maíz, a los trips y al gusano cogollero. También ha sido efectiva en la selección para modificar el número de mazorcas (Paterniani, 1978) y el ángulo de las hojas (Ariyanayagam et al, 1974). La selección masal estratificada, propuesta por Gardner (1961), constituye un esquema superior a la selección masal simple.

El esquema de selección modificado, mazorca por hilera sugerido por Lonquist (1964) ha sido amplia y efectivamente utilizado en muchos programas (Webel y Lonquist, 1974; Paterniani, 1967). Este esquema involucra la selección entre hileras en base a su rendimiento, seguida por la selección dentro de cada hilera seleccionada por rendimiento en el vivero aislado de recombinación de medios, hermanos que se siembra poco después. El esquema permite concluir un ciclo de selección por año en zonas templadas y dos en zonas tropicales.

También se ha sugerido una modificación de este esquema usando dos temporadas en lugar de una. En la primera sólo se evalúan por rendimiento las progenies de medios hermanos. En la segunda, usando la semilla remanente, se recombinan los medios hermanos seleccionados en el vivero aislado de recombinación. Para las hileras macho sólo se utiliza la mezcla de familias de medios hermanos seleccionados. La ecuación de predicción para estimar ganancias mediante este esquema modificado ha sido elaborada por Compton y Comstock (1976). Se requieren dos temporadas por ciclo para completar este esquema, el cual puede dar como resultado una ganancia genética de alrededor de una y media veces más que la obtenida por el esquema de una temporada por ciclo de selección. Una ventaja obvia de este esquema es que solo se siembran las progenies seleccionadas en el vivero de recombinación, lo cual permite sembrar muestras mayores de cada familia. Esto, a su vez, permite incrementar la intensidad de selección intrafamiliar y obtener mayores ganancias genéticas.

Se han sugerido varios esquemas de selección recurrente como resultado de estudios de genética cuantitativa. Entre ellos figuran la selección recurrente por aptitud combinatoria general (Jenkins, 1940), la selección recurrente por aptitud combinatoria específica (Hull, 1945) y la selección recurrente recíproca, por aptitud combinatoria general y específica (Comstock *et al*, 1949). Estos esquemas de selección recurrente difieren en el tipo de probador y en el destino final del material desarrollado. Las diferencias críticas en los esquemas se basan en la naturaleza de acción genética presente en las poblaciones bajo selección. Estos esquemas son similares en cuanto a que comprenden ciclos sucesivos de selección y recombinación de la porción seleccionada de la población. Cuando el objetivo único es mejorar poblaciones, el uso de este esquema pudiera ser altamente eficiente. Es probable que muchos de los incrementos de rendimientos obtenidos con la utilización de estos métodos sean primordialmente resultado de efectos aditivos (Sprague, 1967). Si esto fuera así, sería más apropiado explotar los efectos génicos aditivos mediante selección fenotípica recurrente, o mediante diversos esquemas de selección familiar sin utilizar un probador.

Comstock y Robinson (1952) han diseñado varios tipos de apareamientos; tres de sus diseños sugeridos son útiles para estimar aditividad, dominancia y el grado promedio de efectos de dominancia. El diseño 1 es particularmente eficaz para maíz y ha sido utilizado con bastante frecuencia, no sólo para estimar varianzas genéticas sino también en un programa genético de orden práctico para identificar y sólo recombinar las mejores familias. Además, la información que se genera sobre medios hermanos y de hermanos completos permite hacer más eficiente la selección. En años recientes se han tornado populares varios esquemas de selección familiar, entre los que figuran los de hermanos completos, medios hermanos y "S₁". Se puede emplear también una combinación de los sistemas de "S₁" y medios hermanos para el mejoramiento de algunos atributos, pero no se le puede recomendar como un método genotécnico general.

El Programa de mejoramiento de maíz CIMMYT: complejos germoplásmicos y poblaciones

El programa de mejoramiento del CIMMYT es un proceso de etapas sucesivas en el que se mantiene un flujo continuo y sistemático del plasma germinal (véanse Ortega *et al* 1980, Paliwal y Sprague, 1981). El CIMMYT cree firmemente en el enfoque interdisciplinario, en el cual científicos de varias disciplinas unen su esfuerzo para enfrentar un mejoramiento integral. La pirámide del maíz (Figura 1) ilustra el flujo del germoplasma en diferentes etapas del mejoramiento del maíz, desde la investigación inicial hasta que el producto llega a las manos de los agricultores. Con propósitos de manejo e información, el pro-

grama de maíz del CIMMYT consiste en dos etapas principales, llamadas la Unidad de Apoyo y la Unidad Avanzada. Como parte paralela e integral de este proceso, se han desarrollado y se continúan desarrollando versiones de maíz con calidad proteínica de la mayoría de los complejos y poblaciones. La Unidad de Proyectos Especiales, explora y prueba nuevas hipótesis de investigación. Las técnicas, procedimientos y productos que surgen se van incorporando a las etapas principales del programa.

La Unidad de Apoyo, a través de los complejos germoplásmicos suministra continuamente genotipos superiores o familias superiores a las poblaciones de la Unidad Avanzada, enriqueciendo su variabilidad genética (Figura 1) y haciendo más efectivo su mejoramiento. Un enfoque similar fue propuesto por Harrison (1967), quien recomendó el uso de complejos de apoyo sometidos a una moderada intensidad de selección para apoyar a la población sometida a una alta intensidad de selección.

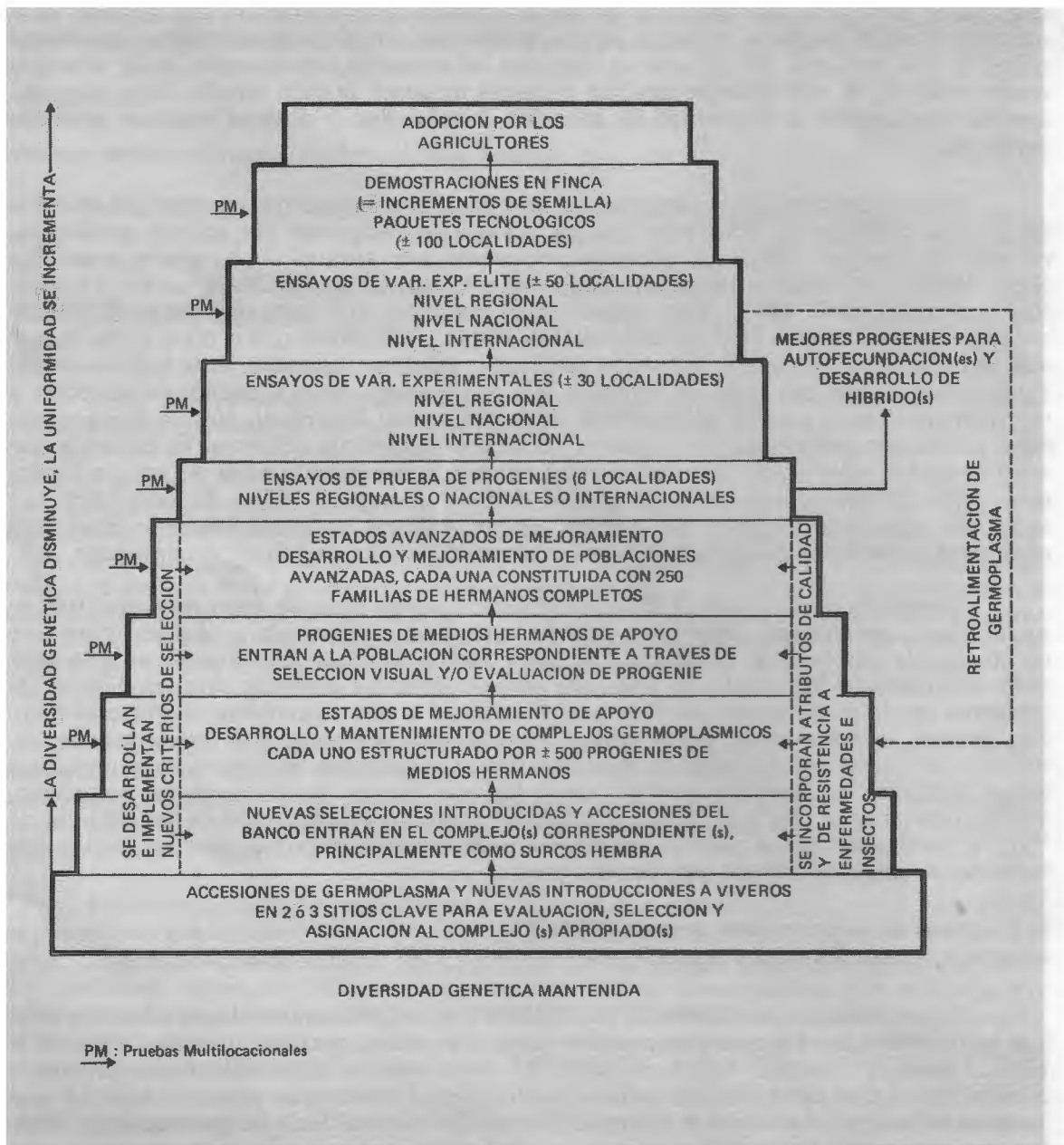


Figura 1. Estadíos en manejo y mejoramiento de germoplasma de maíz

unidad de apoyo

La Unidad de Apoyo maneja el banco de germoplasma de maíz, las nuevas introducciones y 29 complejos germoplásmicos que poseen adaptación climática, madurez, color de grano y textura específicos. El banco de germoplasma contiene ahora más de 13,000 colecciones procedentes de 46 países. Desempeña una función de servicio para el programa residente e investigadores de programas nacionales. Mantiene y cataloga la colección de germoplasma y renueva las existencias según se necesita. De manera periódica, unas 300 colecciones son evaluadas sistemáticamente en en dos o más localidades, con los complejos apropiados como testigos. Los materiales con mejor comportamiento se agrupan de acuerdo con su adaptación, madurez, color de grano y textura. En el ciclo siguiente, las colecciones seleccionadas del banco se incorporan a los complejos apropiados únicamente como hileras hembra. Las observaciones sobre la aptitud combinatoria de los complejos x colecciones y el avance a la F₂ cuando se considera necesario, determinan si las familias obtenidas son rechazadas o se incorporan finalmente al complejo germoplásmico.

El CIMMYT solicita y recibe muestras de semilla de maíces procedentes de diversos programas de todo el mundo. Estas muestras se siembran en viveros de observación en una o más localidades. Las introducciones promisorias se identifican y luego se incorporan sistemáticamente a los complejos genéticos apropiados, siguiendo el mismo criterio señalado para las colecciones del banco.

Los complejos germoplásmicos son reservorios de genes que poseen una amplia constitución genética y están formados por la recombinación genética de variedades diversas, cruza varietales e híbridos, con adaptación climática, madurez, color de grano y textura similares.

Los complejos germoplásmicos del CIMMYT satisfacen los requerimientos climáticos de las zonas tropicales altas, las zonas tropicales bajas y las zonas subtropicales. Los complejos dentro de cada adaptación climática se clasifican a su vez sobre la base de madurez (precoz, intermedia y tardía), color del grano (blanco y amarillo), y textura del grano (cristalino, dentado y harinoso o amiláceo). De los 29 complejos germoplásmicos, nueve se destinan a las zonas tropicales altas, doce a las zonas tropicales bajas y ocho a las zonas subtropicales. Se han desarrollado, además, cuatro nuevos complejos para regiones de clima templado (Cuadro 1).

Manejo y mejoramiento de los complejos germoplásmicos

Cada complejo germoplásmico se maneja separadamente, en aislamiento, en un sistema de recombinación de medios hermanos similar al utilizado en la selección modificada mazorca por hilera (Figura 2). Se han introducido, sin embargo, varias modificaciones al sistema de medios hermanos comúnmente usado, dependiendo de las prioridades y objetivos asignados para cada complejo. Cada año se completan dos ciclos de selección y recombinación en todos los complejos, excepto en los tardíos para zonas altas.

El tamaño de la población de cada complejo se mantiene bastante grande; en cuanto a número, las familias dentro de cada complejo varían de 400 a 500. Cada familia tiene 16 plantas en un surco de cinco metros, lo cual da un total de 6,400 a 8,000 plantas hembra. En los surcos polinizadores hay otras 3,200 a 4,000 plantas, de modo que en total hay una población efectiva de 9,600 a 12,000 plantas dentro de cada complejo.

La proporción de hileras hembras a machos en los complejos se mantiene en 2:1 en el vivero de recombinación. Las hileras macho y hembra se siembran al mismo tiempo y, si es necesario, las fechas de siembra de las hileras macho se escalonan para permitir una mezcla cabal dentro del complejo. En algunos complejos, las hileras macho se siembran al doble de la densidad de las hembras a fin de permitir una mejor expresión de características tales como el intervalo entre emisión de polen y emergencia de estigmas; también suele sembrarse a doble densidad en complejos sometidos a algunas condiciones adversas (infestación con gusanos cogolleros), de modo que todas las plantas indeseables se puedan eliminar antes de la emisión del polen sin afectar adversamente la densidad de plantas.

Cuadro 1. Complejos germoplásmicos de maíz y poblaciones correspondientes en el esquema de mejoramiento del CIMMYT

Complejo No.	Nombre del Complejo	Pob. No.	Nombre de la Población
1	Blanco harinoso precoz de altura	1	Blanco harinoso precoz
2	Blanco harinoso tardío de altura	—	—
3	Amarillo harinoso tardío de altura	2	Amarillo harinoso precoz
4	Amarillo harinoso tardío de altura	3	Chillos Varios
5	Blanco morocho precoz de altura	—	—
6	Amarillo morocho precoz de altura	—	—
7	Blanco morocho tardío de altura	—	—
8	Amarillo morocho tardío de altura	—	—
9	Blanco dentado tardío de altura	—	—
15	Blanco cristalino precoz tropical	30	Blanco cristalino-2
16	Blanco dentado precoz tropical	—	—
17	Amarillo cristalino precoz tropical	31	Amarillo cristalino-2
18	Amarillo dentado precoz tropical	35	Antigua República Dominicana
19	Blanco cristalino intermedio tropical	23	Blanco cristalino-1
20	Blanco dentado intermedio tropical	49	Blanco dentado
21	Amarillo cristalino intermedio tropical	26	Mezcla amarilla
22	Amarillo dentado intermedio tropical	24	Antigua Veracruz 181
23	Blanco cristalino tardío tropical	25	Blanco cristalino-3
24	Blanco dentado tardío tropical	32	ETO blanco
		21	Tuxpeño 1
		22	Mezcla tropical blanca
		29	Tuxpeño Caribe
		43	La Posta
25	Amarillo cristalino tardío tropical	27	Amarillo cristalino-1
26	Amarillo dentado tardío tropical	28	Amarillo dentado
27	Blanco cristalino precoz subtropical	36	Cogollero
		—	—
28	Blanco dentado precoz subtropical	—	—
29	Amarillo cristalino precoz subtropical	46	Templado amarillo cristalino
30	Amarillo dentado precoz subtropical	48	Compuesto de Hungría
31	Blanco cristalino intermedio subtropical	34	Blanco subtropical
32	Blanco dentado intermedio subtropical	44	AED Tuxpeño
		42	ETO Illinois
		47	Templado blanco dentado
		33	Amarillo subtropical
		45	Amarillo de El Bajío
—	Comp. Germ. región templada H. Norte	—	—
—	Comp. Germ. región templada H. Sur	—	—
—	Comp. Germ. región templada intermedia	—	—
—	Comp. Germ. CIMMYT Alemán	—	—
—	Comp. blanco cristalino MCP*	40	Blanco MCP
—	Comp. blanco dentado MCP	—	—
—	Comp. amarillo cristalino MCP	39	Amarillo MCP
—	Comp. amarillo dentado MCP	—	—
—	Tropical templado MCP (cristalino)	—	Templado amarillo
—	Tropical templado MCP (dentado)	—	—

* Maíz de calidad proteínica

Una vez al año, las familias se medios hermanos de cada complejo se siembran en dos o más localidades en México para seleccionar por adaptación amplia y para desarrollar resistencia a ciertas enfermedades foliares. La selección se efectúa tanto en hileras

macho como en hileras hembra. En las hileras macho se desespigan las plantas altas, enfermas e indeseables, antes de la emisión del polen (antesis). De esta manera, en las hileras macho se puede ejercer selección en aquellos caracteres que se pueden evaluar visualmente antes o al tiempo de la floración. El desespigamiento de las plantas indeseables en las hileras macho evita que plantas inferiores polinicen plantas de las hileras hembra.

Se ejerce selección inter e intrafamiliar en cada complejo, en diferentes etapas de desarrollo. Las familias indeseables (hileras hembra) se eliminan según se aprecie visualmente su comportamiento. En las familias deseables o seleccionadas, las plantas superiores se pueden marcar en diferentes etapas de su desarrollo, dependiendo de los objetivos de selección asignados a los diferentes complejos. Dos o tres semanas antes de la cosecha se reevalúan las plantas promisorias, ya marcadas dentro de cada familia en todos los complejos. En todos los complejos precoces, cuando el objetivo es precocidad, se eliminan las espigas de las hileras macho al alcanzarse un 60 a 70 por ciento de emergencia de estigmas, en las hileras hembra. Este procedimiento eficaz permite la autoeliminación de todas las familias tardías dentro del complejo.

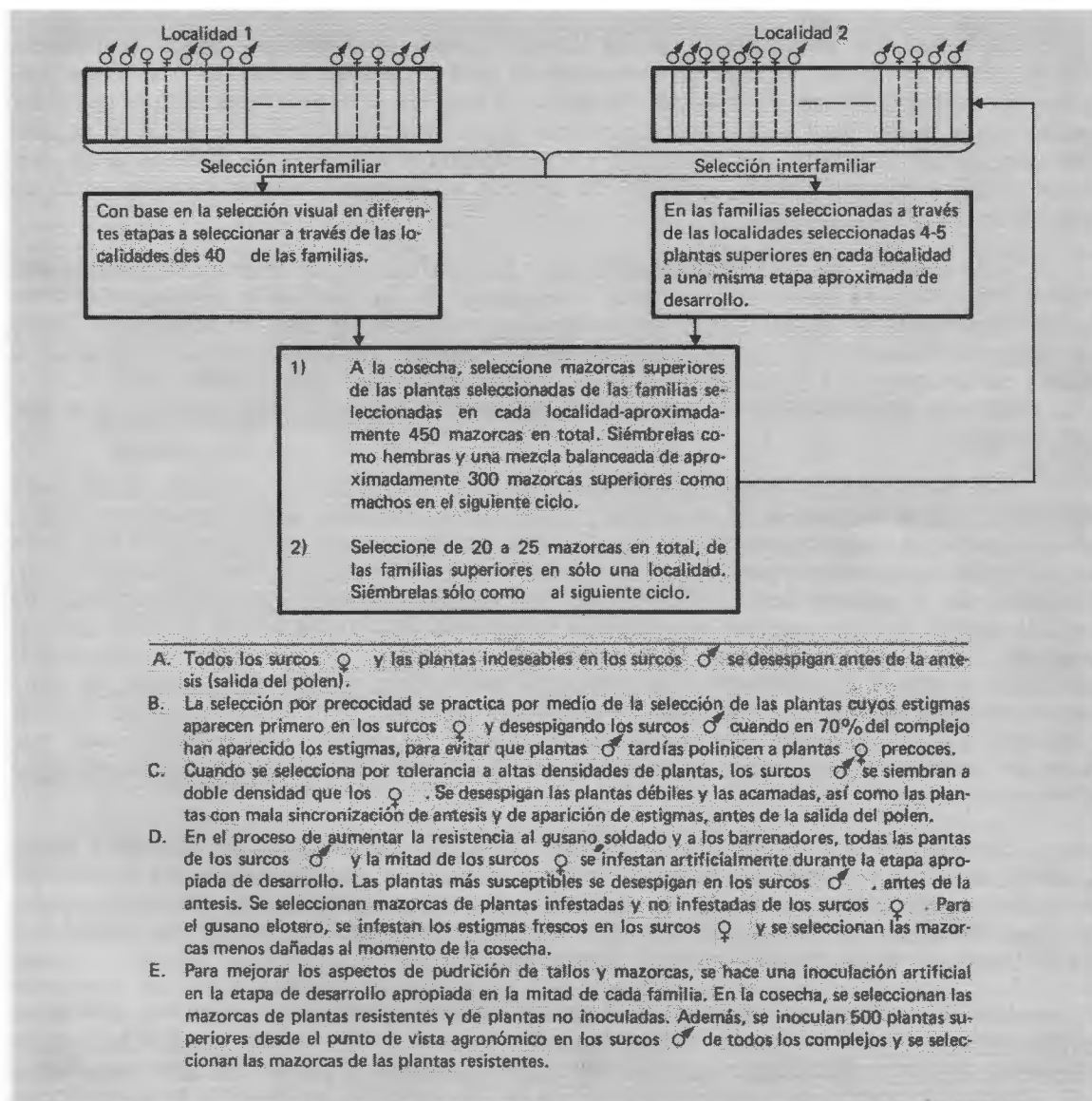


Figura 2. Representación diagramática de la selección de medios hermanos modificada en complejos germoplásmicos, en más de una localidad.

Con el fin de mejorar la sanidad de los complejos estos se exponen a varios insectos y patógenos importantes. Tales incluyen infestaciones artificiales y uniformes con el barrenador de la caña de azúcar (*Diatraea saccharalis*), complejos 19 y 21; barrenador del maíz (*D. grandiosella*), complejo 32; gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*), complejos 24 y 26; gusano elotero (*Heliothis zea*), complejos 1 y 3; infecciones con pudriciones de mazorca, complejos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 con *Fusarium roseum*; complejos 20, 25, 29, 33 y 34 con *F. moniliforme*; e infecciones con pudriciones de tallo, complejos 15, 16, 17, 22, 23 y 30, con *F. moniliforme*.

Además de hacerlos servir como polinizadores de las hileras hembra, hemos utilizado las hileras macho de cada complejo para mejorar la resistencia tanto a pudriciones de la mazorca como del tallo. Esto se efectúa seleccionando 500 plantas agrónomicamente deseables poco después de la floración. Las plantas seleccionadas se inoculan artificialmente con pudriciones de mazorca y tallo. En las pudriciones de mazorca, la concentración de esporas es cinco veces mayor que la usada en una inoculación normal. Las mazorcas escogidas al tiempo de la cosecha se incluyen el siguiente ciclo como hileras hermanas en el mismo complejo para tratar de incrementar aún más el nivel de resistencia a pudriciones de la mazorca y el tallo.

Se aplica una selección moderada dentro de cada complejo para evitar la disminución o erosión de atributos o de genes necesarios para un avance mayor en una etapa posterior. La baja intensidad de selección también da mejores oportunidades para la recombinación entre genes ligados que probablemente serían descartados mucho antes, si se aplicase una mayor intensidad de selección. La presión de selección entre familias es de alrededor de 50 a 60 por ciento, y dentro de familias, en las familias seleccionadas, es de alrededor de 6 a 18 por ciento.

A la cosecha, las mazorcas seleccionadas se clasifican según el propósito, como machos y hembras. Las mazorcas macho se seleccionan de las familias y plantas superiores. Aproximadamente el 70 por ciento de las familias seleccionadas caen en este grupo. Todas las mazorcas seleccionadas (tanto hembras como machos) participan como hembras en el bloque de cruzamiento y recombinación de medios hermanos del siguiente ciclo. Las hileras macho se siembran con un compuesto balanceado formado únicamente con las mazorcas macho.

Los materiales del banco de germoplasma o del vivero de introducción se siembran sólo como hileras hembra en el vivero de cruzamiento y recombinación. Las cruza pueden ser sembradas de nuevo como hileras hembra y luego descartadas o integradas al complejo dependiendo de su comportamiento. Las nuevas incorporaciones permiten un continuo enriquecimiento y mejoramiento del complejo. Las mejoras o cambios en cada complejo, de un ciclo a otro, pueden medirse con eficacia sembrando dos o más surcos de cada ciclo de selección, con o sin repeticiones, al final de cada complejo. En tanto que se mejoran los complejos genéticos con respecto a su comportamiento bajo condiciones adversas, se pone todo el cuidado posible por mantener su diversidad genética. Esto requiere que las familias o plantas que no muestran una respuesta favorable a las condiciones adversas, pero que muestran atributos agrónomicos promisorios, se conserven y se utilicen en el siguiente ciclo de recombinación.

También se envían mezclas de diversos complejos a científicos del CIMMYT comisionados en varias regiones del mundo. Muestras de las mazorcas seleccionadas en cada localidad se envían a México, en donde se efectúa el proceso de incorporación a los complejos respectivos. Así, la influencia potencial de otros ambientes se introduce a los complejos, lo cual ayuda a mejorar todavía más su adaptación.

Las poblaciones correspondientes de la Unidad Avanzada se siembran periódicamente como entradas testigo en cada complejo, a efecto de identificar familias superiores que luego de una evaluación más profunda se incorporen a la población correspondiente. Para obtener la versión con calidad proteínica de un complejo, se siembra en el complejo normal una mezcla de familias seleccionadas de calidad proteínica con endospermo duro, como surcos hembra. Esta retrocruza se practica cada tres o cuatro ciclos para incorporar las ganancias de la versión normal a la de calidad proteínica.

En suma, los complejos germoplásmicos se recombinan, se mejoran continuamente, y se amplía su riqueza genética con regularidad, mediante la adición de nuevas introducciones procedentes de los programas nacionales y con progenies o familias similares superiores, que vienen del banco de germoplasma. Los avances logrados en diferentes complejos con respecto a características agronómicas importantes se consignan en el Cuadro 2. Los materiales de los últimos ciclos tienen un rendimiento significativamente superior, son más precoces y tienen un porte más bajo.

Cuadro 2. Progreso alcanzado en complejos seleccionados para algunos caracteres importantes

Complejo No.	Nombre	Ciclos	Rendimiento (kg/ha)	Días a 50% de floración femenina	Altura de la mazorca (cm)
15	Blanco Cristalino Precoz Tropical	C ₀	2787	85	98
		C ₄	2917	83	81
		LSD (.05)	304	1.5	9.4
21	Amarillo Cristalino Intermedio Tropical	C ₁	3890	73	118
		C ₈	4429	70	105
		LSD (.05)	230	0.1	3.7
24	Blanco Dentado Tardío Tropical	C ₁	4208	78	101
		C ₈	4519	76	92
		LSD (.05)	235	0.7	3.8
27	Blanco Cristalino Precoz Subtropical	C ₁	4144	82	100
		C ₉	4086	78	80
		LSD (.05)	392	1.4	7.3
34	Amarillo Dentado Intermedio Subtropical	C ₁	4224	70	112
		C ₉	5700	67	95
		LSD (.05)	316	0.6	4.4

unidad avanzada

La Unidad Avanzada se dedica al manejo de poblaciones de maíz normal y maíz con calidad proteínica. A la fecha, la unidad maneja 27 poblaciones, tres de las cuales portan el gene opaco-2 (Cuadro 3). Estas poblaciones se dividen en dos grupos: el grupo 1 consiste de 13 poblaciones, y el 2 de 14 poblaciones (Cuadro 5). Cada población se evalúa y selecciona a través de los Ensayos Internacionales de Pruebas de Progenies (IPTT) cada dos años. Las poblaciones del grupo 1 se prueban en años pares y las del grupo 2 en años nones. Todas las poblaciones se manejan directamente desde México, excepto la población 43 (La Posta) que se maneja en cooperación con el IITA, con sede en Nigeria, para mejorar su resistencia al virus del rayado del maíz; las Poblaciones 22 (Mezcla Tropical Blanca), 28 (Amarillo Dentado) y 31 (Amarillo Cristalino-2) que se manejan con el programa nacional de maíz de Tailandia para mejorar su resistencia al mildiú vellosa; y la Población 48 (Compuesto de Hungría), manejada con el programa nacional de maíz de Turquía para

Cuadro 3. Poblaciones avanzadas, caracteres enfatizados en su mejoramiento y los complejos correspondientes

Pob. No.	Nombre de la Población	Grupo	Ciclo de Selección	Enfasis en carácter (es)	Complejo correspondiente
21	Tuxpeño 1	2	4	Resistencia al gusano soldado	24
22	Mezcla Tropical Blanca	1	4	Resistencia al mildiú	24
23	Blanco Cristalino-1	1	4	Resistencia al barrenador de la caña de azúcar	19
24	Antigua Veracruz 181	1	4	Resistencia al gusano soldado	22
25	Blanco Cristalino-3	2	4	Grano blanco cristalino	23
26	Mezcla Amarilla	2	4	Resistencia a la pudrición de la mazorca	21
27	Amarillo Cristalino	1	4	Resistencia al barrenador de la caña de azúcar	25
28*	Amarillo Dentado	2	4	Resistencia al mildiú veloso	26
29	Tuxpeño Caribe	2	4	Altura reducida de la planta	24
30	Blanco Cristalino-2	2	1	Grano blanco cristalino	15
31*	Amarillo Cristalino-2	2	1	Resistencia al mildiú veloso	17
32	ETO Blanco	1	3	Resistencia a la pudrición de la mazorca	23
34	Blanco Subtropical	2	4	Altura reducida de la planta	31
35	Antigua República Dominicana	1	3	(Standability)	18
36	Cogollero	2	4	Altura reducida de la planta	26
39	Yellow QPM	2	1	Resistencia a la pudrición de la mazorca	25 MCP
40	White QPM	2	4	Resistencia a la pudrición de la mazorca	23 MCP
41	Templado Amarillo QPM	2	2	Resistencia a la pudrición de la mazorca	33 MCP
42	ETO Illinois	2	3	Grano blanco dentado	32
43**	La Posta	1	4	Resistencia al virus del rayado	24
44	AED Tuxpeño	1	3	Resistencia a las enfermedades foliares	32
45	Amarillo Bajío	1	1	Resistencia a la pudrición de la mazorca	34
46	Templado Amarillo Cristalino	2	0	Resistencia a la pudrición de la mazorca	29
47	Templado Blanco Dentado	1	1	Barrenador del maíz	32
48***	Compuesto de Hungría	1	3	Resistencia a la pudrición del tallo	30
49	Blanco Dentado	2	0	Cubierta de la mazorca	20

* Mejoramiento en cooperación con el Programa Nacional Tailandés de Maíz y Sorgo, Tailandia.
 ** Mejoramiento en cooperación con el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA), Nigeria.
 *** Mejoramiento en cooperación con el Programa Nacional Turco de Maíz, Turquía.

mejorar su resistencia a pudriciones del tallo. Estas poblaciones se han mejorado por rendimiento, altura de planta, madurez, enfermedades y otras características en el curso de dos o tres ciclos mediante la red de ensayos internacionales de progenies.

Antes de que un material determinado sea considerado para incorporarse al programa de ensayos internacionales, se examina por varios criterios. En primer lugar, las poblaciones se evalúan en pruebas de variedades en diferentes países; luego, dependiendo de su comportamiento, se remiten a sitios que ofrecen mayor potencial para ese material dependiendo del tipo de germoplasma involucrado y de la constitución genética de la población, para decidir, en algunos casos se recurre a experiencias previas. Para muchas poblaciones, es posible hacer predicciones bastante precisas sobre las áreas o regiones donde se adaptarán.

Para el mejoramiento de las poblaciones de la Unidad Avanzada se utiliza el esquema de selección de familias de hermanos completos. En cada población se generan 250 hermanos completos recíprocos, los cuales se evalúan en los ensayos internaciona-

les de progenies en los hemisferios norte y sur. Para el siguiente ciclo de mejoramiento, se seleccionan de 80 a 100 familias de hermanos completos en base a los datos obtenidos a través de localidades. Puesto que la recuperación de datos se lleva alrededor de un año, un ciclo de selección se completa en dos años. En período intermedio entre los dos ciclos se utiliza para mejorar la población con respecto a su característica más deficitaria.

Mejoramiento de las poblaciones de la Unidad Avanzada

El método de selección de familias de hermanos completos abarca los siguientes pasos (Figuras 3 y 4):

- (1) **Regeneración de progenies:** se generan 250 hermanos completos de cada población a través de cruza recíprocas planta a planta entre las familias seleccionadas. De esta manera se produce suficiente semilla para la evaluación internacional de progenies, para continuar el mejoramiento de la población y desarrollar las variedades experimentales. En las poblaciones con calidad proteínica, sólo se conservan aquellos pares en los cuales ambos progenitores muestran el endospermo cristalino (modificado).
- (2) **Ensayos internacionales de pruebas de progenies:** se prueban 250 hermanos completos más seis testigos en seis sitios diferentes, preferentemente en distintos países, usando un diseño de látice simple 16 x 16 con dos repeticiones.
- (3) **Mejoramiento intrafamiliar:** todas las 250 familias de hermanos completos se siembran en el ciclo siguiente. La selección intrafamiliar se hace con respecto a las características deficitarias. Cuando se dispone de datos de suficientes localidades antes de la polinización, se puede hacer una selección preliminar para conservar alrededor de 50 por ciento de las familias. En tal caso, la selección intrafamiliar se restringe a las familias seleccionadas. Las autofecundaciones o las cruza fraternales se hacen dentro de cada familia para mantener la identidad de la misma. Las cruza fraternales se hacen de ordinario para mejorar características que se pueden observar antes o al tiempo de la floración. Para otras características, cuya expresión se puede juzgar mejor al tiempo de la cosecha, se hacen ya sean autofecundaciones o cruza recíprocas de planta a planta dentro de cada familia. En las poblaciones de opaco-2, en donde el objetivo es la selección de mejores genes modificadores para endospermo cristalino se hacen cruza recíprocas planta a planta. A la cosecha, de cada familia se seleccionan en promedio tres fraternales o tres autofecundaciones (subfamilias).
- (4) **Mejoramiento y recombinación de subfamilias:** los fraternales o autofecundaciones de cada familia se siembran al siguiente ciclo. Se mantiene la genealogía de todas las subfamilias que se originan de cada familia progenitora. Antes de la polinización, llegan de ordinario los datos faltantes y es posible identificar las familias superiores a través de localidades.

Se selecciona de nuevo con respecto a las mismas características de selección inter e intrasubfamiliar. Luego, los mejores individuos dentro de las subfamilias seleccionadas (generalmente uno de cada familia original) se marcan y se polinizan a mano con su mezcla de polen, generándose medios hermanos. A la cosecha de cada familia original se seleccionan un promedio de dos o tres mazorcas de medios hermanos.

Se mantiene la genealogía de todos los medios hermanos generados por todas las familias de hermanos completos progenitoras, para evitar cruzamientos entre familias provenientes de la misma familia original. Las mazorcas de medios hermanos seleccionadas se siembran en un arreglo de mazorca por hilera. Se hacen cruza recíprocas planta a planta entre las familias de medios hermanos provenientes de diferentes familias de hermanos completos progenitoras. Al tiempo de la cosecha se obtienen 250 pares de hermanos completos para continuar el siguiente ciclo de selección.

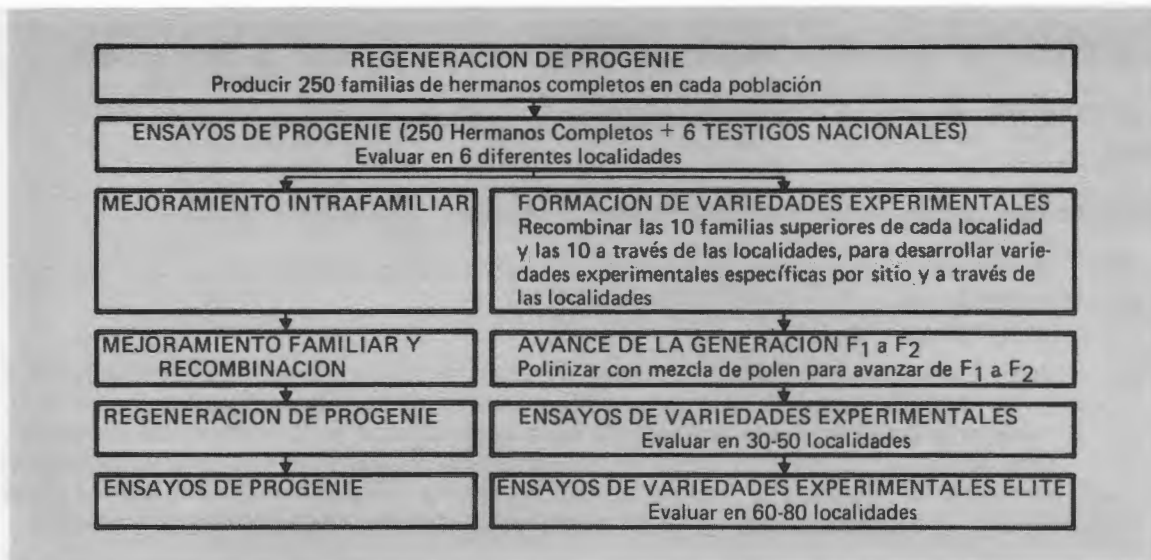


Figura 3. Etapas en el mejoramiento de poblaciones y desarrollo y evaluación de variedades experimentales

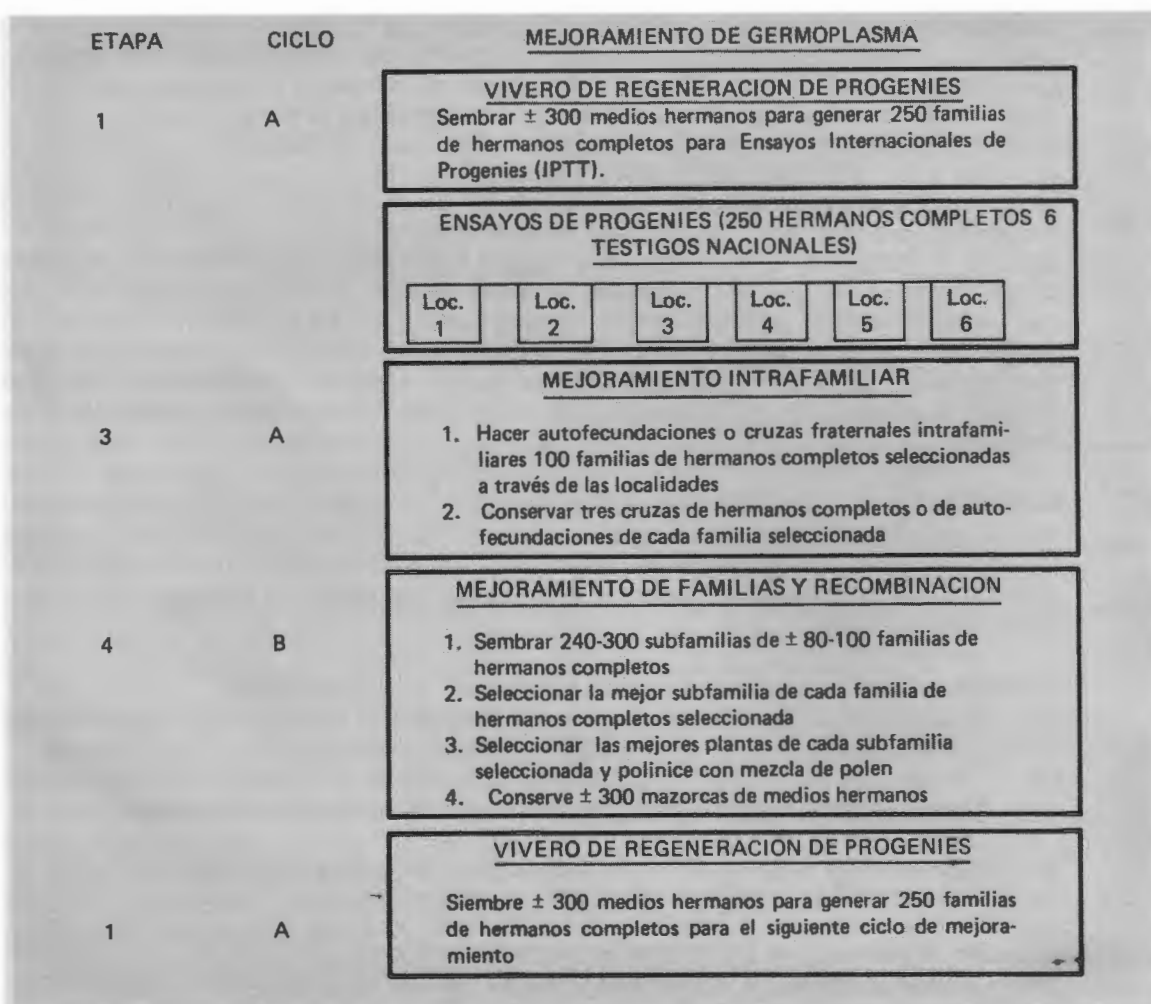


Figura 4. Esquema de la secuencia de mejoramiento de poblaciones

En cada población se aplica una intensidad de selección de 30 a 35 por ciento. Conforme ha evolucionado el programa, el germoplasma en la Unidad Avanzada se ha mejorado a través de la selección por el reemplazo parcial mediante la incorporación de familias de hermanos completos sobresalientes y/o por la substitución completa de la población. Se crean nuevas poblaciones mediante el uso de las mejores 200 a 300 familias de medios hermanos procedentes de los complejos germoplásmicos. El proceso de incorporación normalmente incluye: (1) el desarrollo de hermanos completos, (2) su evaluación en las IPTT's junto con las familias de la población y (3) la selección de familias superiores para su incorporación final en la población o poblaciones respectivas.

El Cuadro 4 muestra las ganancias por selección en siete poblaciones para tres atributos agronómicos importantes. Las ganancias por ciclo varían de 0.75 por ciento a 4.05 por ciento, con una ganancia promedio de 2.60 por ciento. Todas las poblaciones registraron reducción de porte, con una ganancia promedio de 2.5 cm por ciclo. La madurez promedio se redujo en aproximadamente medio día por ciclo.

Cuadro 4. Aumentos por selección en siete poblaciones avanzadas (datos de 3 localidades—1979)

Población	Rendimiento de grano en kg/ha		%o de aumento por ciclo/año	Altura de la planta en cm		Ganancia por ciclo/año	Días a 50%o de floración femenina		Ganancia por ciclo/año
	C ₀	C ₂		C ₀	C ₂		C ₀	C ₂	
Tuxpeño 1	5200	5429	2.20	202	198	-2.0	63.2	63.5	0.2
Mix.1.Col.Gpo.1 ETO	5172	5422	2.40	209	204	-2.5	63.7	62.7	-0.5
Mezcla Amarilla	4724	5017	3.10	199	197	-1.0	61.8	60.8	-0.5
Amarillo Dentado	5015	5311	2.95	234	228	-3.0	64.8	64.1	-0.4
Tuxpeño Caribe	5423	5718	2.70	214	210	-2.0	63.8	63.8	-0.0
ETO Blanco	4378	4442	0.75	211	203	-4.0	63.9	63.4	-0.3
Ant.Rep.Dom.	4651	5029	4.05	185	181	-2.0	58.5	57.8	-0.4
X	4938	5195	2.60	208	203	-2.5	62.8	62.3	-0.3

Desarrollo de Variedades Experimentales (EV)

Para el desarrollo de variedades experimentales se usa una intensidad de selección de 4 por ciento. Estas variedades se desarrollan sobre la base de los datos levantados en las pruebas de progenies, tanto en localidades específicas como a través de localidades. Así, cada población tiene un potencial para generar siete variedades experimentales (seis por sitios específicos y una a través de sitios en cada ciclo de evaluación). Dado que la fracción superior de cada población se muestrea para formar la variedad experimental, se espera que estas variedades muestren un comportamiento considerablemente superior al promedio de la población y que hayan incrementado su potencial para su uso y explotación inmediatos. Al formar las variedades experimentales, se recombinan las (aproximadamente) 10 familias superiores, más rendidoras, con atributos relativamente uniformes, de manera tal que la apariencia de la variedad sea también uniforme.

En la formación de variedades experimentales, se hacen cruza dialélicas dentre las familias seleccionadas. Al recombinar en esta etapa, se hace especial hincapié en la uniformidad entre familias y plantas. Al tiempo de la cosecha, las mazorcas que provienen de cada familia y sus cruza con otras familias se mantienen y se desgranar como mezcla. De la mezcla de cada familia se toma una cantidad precalculada para producir la mezcla F₁. en el ciclo siguiente ésta se avanza tomando polen de plantas que mejor tipifican la variedad para reducir los efectos heteróticos y producir suficiente semilla destinada a los ensayos de variedades

experimentales (EVT) y a los ensayos de variedades experimentales élite (ELVT), y a los programas nacionales que una vez conducidas las evaluaciones y obteniendo los resultados se interesen por ellas.

Las variedades experimentales se nombran de manera tal que los cooperadores de los diferentes programas nacionales que llevaron a cabo las pruebas de progenie reciban un reconocimiento cabal. El nombre de cada variedad se deriva del nombre de las estaciones experimentales o de la localidad en la que se realizó la prueba de progenies, seguido por dos dígitos que indican el año de la prueba. Las dos últimas cifras indican el número de la población (por ejemplo, Tocumen 7428).

Ensayos de variedades experimentales (EVT)

Según se señaló, las variedades experimentales tanto para sitios específicos como a través de localidades se desarrollan sobre la base de datos de las pruebas de progenies. Las variedades experimentales así formadas a partir de diferentes poblaciones, se agrupan en ensayos de variedades experimentales numerados del 11 al 17. Los EVT 11 y 15 se reservan para las variedades experimentales derivadas de poblaciones de calidad proteínica manejadas por la Unidad Avanzada. Cada ensayo de variedades experimentales se prueba internamente en 30 a 40 localidades. En el Cuadro 5 se muestra la superioridad de las variedades experimentales sobre su población progenitora.

Cuadro 5. Comportamiento de variedades experimentales y su población de origen

Variedad experimental	Población de origen	Rendimiento de grano (kg/ha)		Variedad Experimental como porcentaje de la población de origen
		Var. exp.	Pob. de origen	
Gemiza 7421	Tuxpeño 1	4456	3965	112.4
Poza Rica 7429	Tuxpeño Caribe-2	4235	4683	110.5
Across 7443	La Posta	4865	4184	116.2
Sids 7444	AED Tuxpeño	4166	3370	123.6
Delhi 7439	Yellow QPM	4272	3410	125.2
Cuyuta 7441	Composite K.H.E.02	4363	3685	118.3
San Andrés	White QPM	4274	3863	110.6

Ensayos de variedades experimentales élite (ELVT)

Las variedades experimentales superiores a través de localidades son nuevamente evaluadas en los ensayos de variedades experimentales élite. A estos ensayos se les han asignado los números del 18 al 20. El ELVT 18 se reserva para las zonas bajas tropicales, el ELVT 19 para los maíces con calidad proteínica, y el ELVT 20 para materiales subtropicales. Los ELVT se envían a más de 50 localidades diferentes en el mundo.

Ensayos fuera del campo experimental y adopción por los agricultores

Las variedades élite promisorias pueden ser probadas en ensayos establecidos fuera de los campos experimentales por los programas de cada país. Luego de verificarse en parcelas grandes, la variedad puede ponerse a disposición de los agricultores. Debe haber un incremento de semilla simultáneo de las variedades superiores a fin de que haya suficiente semilla al tiempo de su liberación.

mejoramiento con respecto a algunos atributos especiales

En los siguientes párrafos se describe el programa en marcha de mejoramiento de maíz por características especiales, a saber: (1) mejoramiento por precocidad, (2) mejoramiento por resistencia al mildiú veloso o cenicilla, achaparramiento y virus del rayado, (3) mejoramiento por resistencia a insectos, (4) mejoramiento por calidad proteínica.

Mejoramiento por precocidad

En muchas partes del mundo se necesitan variedades precoces de maíz que se ajusten más adecuadamente a los sistemas de producción o que aprovechen cabalmente el ciclo de cultivo en virtud de algún régimen pluviométrico en particular. En general, los materiales muy precoces son susceptibles a enfermedades foliares y tienen un bajo potencial de rendimiento, aún en condiciones de densidades de población razonablemente altas. Durante los últimos cuatro años, el CIMMYT ha hecho particular hincapié en el desarrollo de genotipos más precoces para áreas tropicales, subtropicales y de altura. Para desarrollar materiales precoces se están empleando cuatro enfoques:

- (1) Selección recurrente por precocidad en una población de maíz de ciclo intermedio a tardío.
- (2) Cruzamiento de tipos precoces con materiales de ciclo intermedio a tardío, seguido por recombinación y selección por precocidad junto con otras características agronómicas deseables.
- (3) Intercruzamiento entre tipos precoces, seguido por recombinación y selección por rendimiento y resistencia a enfermedades foliares, sin sacrificar precocidad.
- (4) Intercruzamiento de maíz tropical precoz con maíz de la faja maicera de los EUA con el propósito de combinar rendimiento, precocidad y resistencia a enfermedades foliares.

En el primer enfoque, se están manejando alrededor de 400-500 familias en un compuesto precoz mediante el empleo de un programa de selección de medios hermanos. Las plantas precoces se marcan en las familias, y cuando el 60 al 70 por ciento de plantas han emitido estigmas, se eliminan las espigas de las hileras macho para descartar la fracción tardía de la población. El material se cosecha relativamente temprano para ayudar en la separación visual de las mazorcas más secas. Sólo se cosechan las mejores mazorcas relativamente más secas de las plantas superiores y precoces para repetir el proceso en el siguiente ciclo.

El mismo enfoque se utiliza en algunos complejos, excepto que el material experimental haya sido derivado de las cruces de compuestos precoces con poblaciones de maíz de ciclo intermedio a tardío de la Unidad Avanzada. Los hallazgos, luego de emplear el primer y segundo enfoque, indican que es posible producir materiales de medio a un día más precoces por cada ciclo de selección, a la vez que se mantiene el mismo nivel de rendimiento. Los últimos dos enfoques anotados arriba se han usado también, pero los resultados obtenidos hasta ahora no son promisorios.

Mejoramiento por resistencia al achaparramiento, al virus del rayado de maíz y al mildiú veloso

En años recientes tres enfermedades del maíz han acrecentado su importancia. Estas enfermedades constituyen un peligro potencial para muchas áreas productoras de maíz en el mundo: achaparramiento en Centroamérica y México, virus del rayado de maíz en África, y mildiú veloso principalmente en Asia, aunque también ha sido reportado en Centroamérica, América del Sur y África. En 1974 se inició un proyecto colaborativo entre el CIMMYT y seis programas nacionales a fin de desarrollar germoplasma de maíz resistente a dichas enfermedades. Para este trabajo se escogieron al principio tres poblaciones de maíz de

amplia base genética y superiores desde el punto de vista agronómico. Estas poblaciones tenían diferentes colores y texturas de grano y se les podía cultivar satisfactoriamente en muchas regiones del mundo.

Para tratar de mejorar la resistencia genética a las enfermedades, se siguió un esquema convergente-divergente. En cuanto al mildiú veloso, los países colaboradores fueron Tailandia y Filipinas; en cuanto a achaparramiento, el Salvador y Nicaragua, y en cuanto al virus del rayado de maíz, Tanzania y Zaire. Se realizaron ciclos alternos de selección en áreas patológicamente problemáticas de los países colaboradores, a fin de seleccionar plantas resistentes a los patógenos y agronómicamente deseables. Durante la temporada siguiente en México las selecciones resistentes se recombinaron y seleccionaron de nuevo con respecto a características agronómicas.

Para 1980 se habían concluido cuatro ciclos de selección en cada población y era evidente que se había logrado un nivel adecuado de resistencia de campo al achaparramiento y al mildiú veloso. En este punto se introdujo un programa sistemático de mejoramiento poblacional. Se desarrollaron hermanos completos a partir de poblaciones resistentes al mildiú veloso y al achaparramiento del maíz y se enviaron pruebas de progenie a efecto de evaluarse en países donde estas enfermedades tienen buenas probabilidades de expresarse bajo condiciones naturales. Con base a los datos de las pruebas, en México se desarrollaron variedades experimentales resistentes al achaparramiento y al mildiú veloso. Estas variedades experimentales se han probado a su vez en ensayos especiales de resistencia al achaparramiento y al mildiú veloso, y varios programas nacionales las están utilizando.

Con la reubicación del programa regional asiático en Tailandia y el establecimiento del programa regional de Africa Occidental en el IITA --con sede en Nigeria--, se transfirió a dichos programas la responsabilidad de desarrollar materiales resistentes al mildiú veloso y al virus del rayado del maíz, respectivamente. El trabajo sobre mildiú veloso involucra ahora a tres poblaciones de la Unidad Avanzada --Mezcla Tropical Blanca (población 22), Amarillo Dentado (población 28), y Amarillo Cristalino-2 (población 31). La distribución de viveros internacionales y el mejoramiento genético de estas poblaciones se lleva a cabo en cooperación con el Programa Nacional de Maíz de Tailandia, en el cual se hace hincapié en la resistencia al mildiú veloso. De manera similar, el trabajo sobre el desarrollo de resistencia al virus del rayado del maíz se lleva a cabo ahora en colaboración con el IITA (Nigeria), sobre la población La Posta (población 43).

Mejoramiento por resistencia a insectos

El desarrollo de variedades agronómicamente buenas y resistentes al ataque de insectos requiere de instalaciones y facilidades de cría masiva y de infestación artificial. Para satisfacer esta necesidad, el CIMMYT estableció en 1974 un laboratorio de cría masiva de insectos, donde se trabaja con cuatro especies: gusano cogollero, gusano elotero, barrenador de la caña de azúcar y barrenador del maíz. Se han perfeccionado las técnicas de cría masiva de insectos y de producción y colección de larvas, de modo que ahora se producen en número suficiente para infestar artificialmente con larvas de primer estadio varios complejos de la Unidad de Apoyo y varias poblaciones de la Unidad Avanzada.

La técnica de infestación artificial requiere de una mención especial puesto que es una mejora notable sobre la que usaban los entomólogos en el pasado (Ortega *et al*, 1980). La nueva técnica utiliza larvas recién eclosionadas, en lugar de masas de huevecillos, mezcladas con gránulos de olote*. Esta mezcla se coloca con la ayuda de un aplicador de larvas llamado "Bazooka", en el cogollero de las plantas en el caso del gusano cogollero y de los barrenadores; en el caso del elotero, se aplica sobre estigmas jóvenes. Esta técnica ha acelerado considerablemente el trabajo de resistencia a insectos en el CIMMYT y posee muchas ventajas: las larvas activas comienzan a alimentarse de inmediato y están menos expuestas a los depredadores, se amplían la velocidad y la uniformidad de la infestación, se regula mejor la oportunidad con la que se hacen las infestaciones, y se reduce considerablemente el número de plantas que escapan a la infestación.

* También tusa o marlo en América Latina.

Para mejorar el nivel de resistencia en los complejos 24 y 26, ocho plantas de cada familia (hileras hembra) se infestan en la etapa de tres a cuatro hojas extendidas; en los cogollos de tales plantas se depositan dos descargas precalibradas de alrededor de 20 larvas recién eclosionadas de gusano cogollero. Se aplican tres descargas de alrededor de 10 larvas recién eclosionadas de barrenador de la caña de azúcar, a los complejos 19 y 21 e igual dosis del barrenador del maíz al complejo 32, cuando las plantas alcanzan la etapa de seis a ocho hojas extendidas. La aplicación dividida de larvas reduce la variación en el número de larvas que recibe cada planta. Las ocho plantas restantes de cada familia (hileras hembra) se protegen constantemente con insecticidas granulares. Las diferencias relativas de rendimiento entre las porciones protegidas e infestadas junto con la magnitud del daño foliar estimado visualmente en dos a cuatro ocasiones, permiten identificar las familias que poseen tanto antibiosis, tolerancia o ambos componentes de resistencia.

En los complejos 24 y 26 todas las plantas de las hileras polinizadoras (hileras macho) se infestan en la etapa de plántula (16 matas de dos plantas cada una). Durante el raleo, se elimina la planta más dañada de cada mata. A la floración, alrededor del 30 por ciento de las plantas más dañadas se desespigan antes de la emisión del polen. En los Complejos 19, 21 y 32, las infestaciones de todas las plantas de las hileras polinizadoras se hacen después del deshije, y el 30 por ciento de las plantas más dañadas se desespiga antes de la emisión de polen.

Los complejos para zonas altas (1 y 3) se infestan con elotero cuando la mayoría de los estigmas han emergido. Sobre los estigmas se hacen dos descargas de unas 10 larvas de elotero recién eclosionadas. El daño se estima al tiempo de la cosecha mediante la medición en centímetros de la penetración de las larvas.

Para todos los viveros genotécnicos se utiliza semilla tratada con una suspensión de insecticida y fungicida. Este tratamiento a la semilla deja de ser eficaz para la época en que las plántulas van a ser infestadas artificialmente. Cuando se hace necesario (debido a condiciones climáticas o a disponibilidad de insectos para la infestación artificial), se puede suministrar protección adicional con insecticida a fin de evitar la infestación natural por insectos. Cuando la disponibilidad de larvas de insectos lo permite, se pueden hacer dos o tres infestaciones a fin de mantener la presión hasta la etapa de floración, y seleccionar las plantas que presentan el menor daño.

Para determinar la reacción de la planta a la alimentación foliar de las larvas en los complejos y poblaciones de maíz, se utiliza una escala de calificación de 1 (sin daño) a 5, o de 1 a 9 (daño severo). Se tiene preferencia por la escala de 1 a 9, donde 1-3 incluye los tipos resistentes, 4-6 los intermedios, y 7-9 los susceptibles. Se llegan a hacer de dos a cuatro evaluaciones antes de la floración para seleccionar finalmente las familias y plantas menos dañadas.

Además de los complejos de maíz indicados arriba, las Poblaciones 21 (Tuxpeño 1) y 24 (Antigua Veracruz 181) se están mejorando con respecto a su resistencia al gusano cogollero; las Poblaciones 23 (Blanco Cristalino-1) y 27 Amarillo Cristalino-1) con respecto a resistencia al barrenador de la caña de azúcar, y la 47 (Templado Blanco Dentado) con respecto a resistencia al barrenador del maíz. Dos ciclos de selección recurrente con líneas "S₂" en Tuxpeño 1 han generado un sintético con un nivel intermedio de resistencia.

En estas poblaciones, se infestan de 8 a 16 plantas de cada familia en viveros con o sin repetición, luego de les evalúa y se les selecciona según se describió para los complejos.

Mejoramiento por calidad proteínica

Para el desarrollo de maíz con calidad proteínica (MCP), el gene opaco 2 se ha usado extensivamente. Desafortunadamente la mayoría de los MCP confrontan problemas de menor rendimiento de grano, endospermo inaceptablemente suave y gredoso, secado más lento luego de la madurez fisiológica del grano, y más vulnerabilidad a pudriciones de mazorca y a las plagas de los granos almacenados. La naturaleza de estos problemas es bastante compleja y ha constituido una barrera para la promoción y aceptación de los MCP por parte de los

agricultores. Para desarrollar MCP comercialmente aceptables, con mejor valor nutricional y biológico, es en extremo importante que el principal impulso de la investigación se aboque a la solución de los problemas antes mencionados. Aunque se exploraron y se probaron varias ideas de investigación y enfoques genotécnicos para remediar los problemas confrontados por los materiales con calidad proteínica, se encontró que la estrategia genotécnica basada en la acumulación y explotación de modificadores genéticos del locus opaco-2 (para endospermo cristalino o vítreo o duro) era la alternativa más apropiada (véanse Vasal et al, 1979, 1980; Paliwal y Sprague, 1981). Sin embargo antes de que este enfoque pudiera aplicarse con eficacia, hubo necesidad de desarrollar los materiales donadores portadores del gene opaco-2, con endospermo modificado. Aunque en los materiales opaco-2 de endospermo suave existía variación para la modificación del grano, hubo que iniciar independientemente un proceso de selección en varios progenitores genéticos. Los tipos de modificación parcial desarrollados a través del proceso de selección se inter cruzaron para acumular los genes modificadores. Este proceso generó un fenotipo alterado casi indistinguible del endospermo suave existía variación para la modificación del grano, hubo que iniciar independientemente un proceso de selección en varios progenitores genéticos. Los tipos de modificación parcial desarrollados a través del proceso de selección se inter cruzaron para acumular los genes modificadores. Este proceso generó un fenotipo alterado casi indistinguible del endospermo normal. Durante el proceso de selección, la calidad proteínica se verificó continuamente a través de análisis de laboratorio para mantenerla a un nivel deseable.

El desarrollo de donadores sobresalientes con fenotipo de grano con apariencia completamente normal y alta calidad proteínica fue un avance genotécnico que inspiró nuevas esperanzas y optimismo, y estableció la base para continuar el programa genotécnico actual. Este proceso trascendental se inició en 1974 con el uso de modificadores genéticos. En esta época, los esfuerzos iniciales fueron dirigidos al desarrollo de una amplia gama de germoplasma con calidad proteínica usando las poblaciones de maíz normal y los complejos disponibles en las unidades de apoyo y avanzada del programa de maíz. Se utilizaron dos enfoques genotécnicos para generar el germoplasma con calidad proteínica: desarrollo de versiones con calidad proteínica de genotipos de maíz normal mediante el proceso de conversión, y desarrollo de complejos germoplásmicos con calidad proteínica y con endospermo modificado, es decir Cristalino o Vítreo. A continuación se discuten ambos enfoques.

Desarrollo de versiones de MCP

Para desarrollar versiones del MCP con apariencia modificada (cristalina) de su grano, los genotipos normales de maíz se cruzan con uno o más progenitores donantes apropiados de calidad proteínica y endospermo vítreo. Puesto que el proceso de incorporación involucra la introducción del gene opaco-2 y también de los genes modificadores favorables provenientes de los progenitores donantes, el programa convencional de retrocruzas no se puede usar con eficiencia para manejar los sistemas tanto sencillos como complejos involucrados en el programa de conversión. Es importante que luego de cada retrocruza se incremente adecuadamente la frecuencia de los genes modificadores antes de efectuar la siguiente retrocruza. Se ha diseñado una combinación de esquemas genotécnicos utilizando la retrocruza y la selección recurrente para desarrollar tipos aceptables de MCP y para capitalizar las mejoras logradas en el progenitor recurrente. El esquema genotécnico empleado en el proceso de conversión (Fig. 5) tiene las siguientes características singulares:

1. En cada retrocruza se emplea una versión mejorada del progenitor recurrente. Así, las mejoras logradas en el progenitor recurrente son transferidas a la versión MCP.
2. El procedimiento es bastante flexible. El grado de modificación del grano desempeña un papel importante para determinar el tiempo de la siguiente retrocruza. A menudo es necesario avanzar la versión segregante de MCP a la F₃ o aún a la F₄ para incrementar suficientemente la frecuencia de genes modificadores antes de efectuar la siguiente retrocruza.
3. El esquema permite que una porción de la versión MCP se pueda manejar de una generación a otra en estado homocigótico para el gene opaco-2. Esto permite la acumulación continua a través del proceso de selección recurrente de genes modificadores

favorables. Esta porción se verifica continuamente en el laboratorio en cuanto a su calidad proteínica.

4. Después de cada retrocruza, se mantienen los modificadores acumulados así como la calidad proteínica.
5. Se ejerce una selección sistemática y más rigurosa contra caracteres tales como presencia de espacios abiertos entre las hileras de granos en la mazorca, modificadores opalescentes, granos reventados y secamiento lento, tanto al nivel de familias como de plantas individuales.
6. Se practica la selección por modificadores estables a través de diferentes ambientes. Las familias con calidad proteínica más avanzadas se seleccionan con respecto a la estabilidad de los modificadores en diferentes localidades durante el mismo ciclo; recombinándose las más estables en el ciclo siguiente.
7. Los productos del proceso de conversión se pueden usar fácilmente en cualquier etapa, ya sea como una población completa o como una mezcla recombinada de familias superiores.

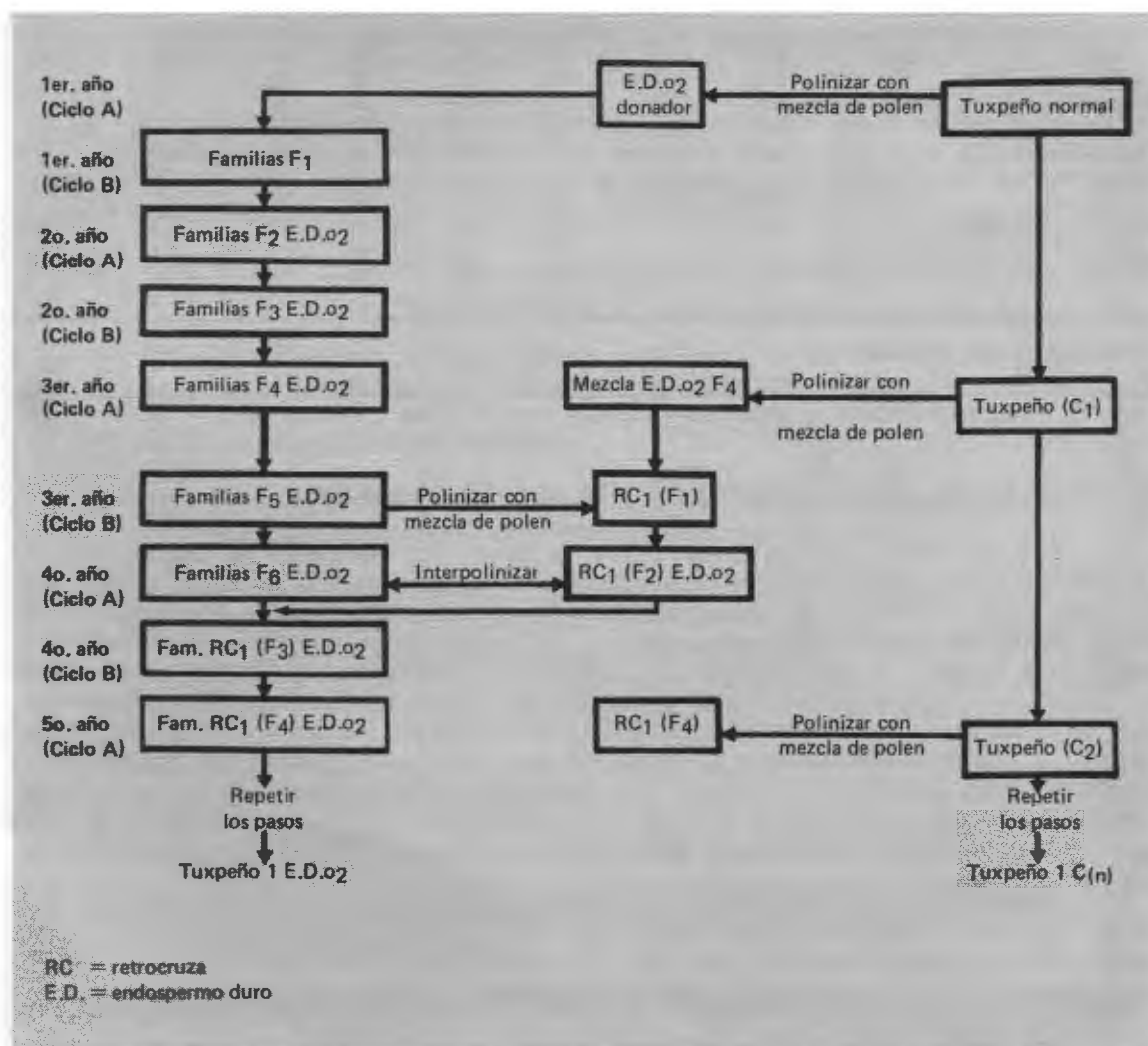


Figura 5. Esquema de selección recurrente combinada en retrocruzamiento para la obtención de la versión de endospermo duro opaco-2 de una población normal bajo proceso de mejoramiento.

En el CIMMYT, las versiones MCP con endospermo duro de las poblaciones avanzadas y de los complejos de la Unidad de Apoyo se han desarrollado mediante el uso del esquema antes mencionados. El comportamiento de las versiones MCP en comparación con sus contrapartes normales se presenta en el Cuadro 6. El fenotipo del grano de estas versiones MCP se aproxima a una apariencia normal. La altura de la planta y de la mazorca son similares a las de las contrapartes normales. La incidencia de pudriciones de la mazorca se ha reducido de manera substancial; sin embargo, algunos materiales MCP registran todavía una incidencia algo más alta. En los años próximos se hará mayor hincapié en la integración de tipos genéticamente similares para desarrollar poblaciones avanzadas de MCP y los complejos germoplásmicos MCP apropiados.

Cuadro 6. Comparación de materiales normales y sus versiones MCP por rendimientos y otras características agronómicas

Material	Rendimiento (kg/ha)*		MCP como %	Altura de la mazorca (cm)		Días a 50 % de floración femenina		Pudrición de mazorcas (%)	
	Normal	MCP	del normal	Normal	MCP	Normal	MCP	Normal	MCP
Tuxpeño 1	6187	6152	99.4	111	110	61	60	2.2	5.4
Mezcla Tropical Blanca	6598	5593	84.8	119	111	61	59	3.3	4.2
Blanco Cristalino-1	6377	5538	86.8	113	114	58	58	2.9	3.4
Mix.1 Col.Gpo.1 ETO	6117	5681	92.9	107	105	60	58	2.9	4.5
Mezcla Amarilla	5431	5237	96.4	103	106	58	58	2.9	5.7
Amarillo Dentado	5351	5230	97.7	125	110	61	57	2.5	3.2
Tuxpeño Caribe	6393	5903	92.3	117	115	61	58	2.5	4.2
Ant. Rep. Dominicana	5351	5080	94.9	100	112	56	57	2.3	3.7
La Posta	6470	5903	91.2	131	122	62	59	3.1	4.0
Pool 23	6184	5659	91.5	115	120	59	57	4.0	4.0

*Promediado de años y localidades

● Desarrollo de complejos genéticos de MCP con endospermo duro

Además de ser excelentes depósitos de genes, los complejos germoplásmicos de MCP conjuntan en una determinada fuente de material al gene opaco-2 en estado homocigótico y los genes modificadores provenientes de varios materiales de maíz genéticamente diversos. Siguiendo a la recombinación genética, la frecuencia de modificadores favorables se incrementa, lo cual a su vez remedia varios atributos indeseables que afectan a los materiales MCP. Los complejos germoplásmicos de MCP con endospermo modificado se pueden utilizar de varias maneras: 1) como materiales donantes para emplearse en el programa de conversión, 2) como apoyo continuo al programa de mejoramiento poblacional en marcha; 3) se puede extraer una fracción superior para desarrollar poblaciones de MCP que se pueden mejorar mediante pruebas sistematizadas de progenies y 4) como recursos germoplásmicos mejorados para iniciar el proceso de mejoramiento genético por parte de los programas nacionales.

Los complejos germoplásmicos con endospermo modificado se han formado de diferentes maneras. La manera ha dependido en gran parte de la etapa de desarrollo de los materiales MCP en el programa y también de la disponibilidad de tales materiales en los programas nacionales. En la formación de tales complejos MCP se han seguido tres enfoques:

1. Recombinación de familias MCP con fenotipo parcialmente modificado generadas independientemente a partir de diferentes progenitores. Este enfoque se empleó en las etapas iniciales del programa. En la formación de los complejos MCP se usaron con éxito familias o líneas de MCP que por ellas mismas no tenían utilización.

2. En la formación de los complejos MCP se utilizaron mezclas de materiales de calidad proteínica o las familias superiores de cada material con calidad proteínica provenientes del proceso de conversión o a partir de los programas de mejoramiento poblacional.
3. También se cruzaron poblaciones normales con materiales donantes de MCP. Las cruces F₁ se avanzaron a la F₂ en un vivero de cruzamientos y recombinaciones de medios hermanos. De la generación F₂ segregante, se obtuvieron los tipos con mejor modificación de grano. Los segregantes MCP seleccionados se utilizaron para continuar la recombinación en los siguientes ciclos e integrar los complejos.

Durante el proceso de recombinación y selección, sin sacrificar calidad proteínica se da particular importancia a la acumulación de alelos favorables para alterar y mejorar el fenotipo del grano.

Aunque el manejo y mejoramiento de los complejos de MCP es similar al de los complejos normales, se da especial atención a los siguientes aspectos:

- Es esencial aislar los complejos MCP de los complejos normales.
- En el desarrollo de los complejos, la calidad proteínica y la modificación del grano rigen la selección de las familias. Las mazorcas seleccionadas de cada ciclo se someten al análisis de laboratorio y las familias se seleccionan sobre la base de contenido y calidad proteínica.
- Se practica selección por modificación mejorada del grano en todas las etapas posibles, tanto al nivel de mazorca como de grano, y sólo se utilizan semillas modificadas al sembrar el bloque de cruzamiento y recombinación de medios hermanos.
- Sólo se usan mazorcas seleccionadas con buena calidad proteínica para formar el compuesto balanceado del macho.
- Además de seleccionar por mejores características agronómicas, se practica selección con respecto a caracteres tales como espacios abiertos entre las hileras de granos, granos opalescentes, granos reventados, y secamiento lento después de la madurez fisiológica del grano.
- Se da importancia especial a la selección por resistencia a las pudriciones de la mazorca, tanto bajo condiciones naturales como artificiales.
- Los complejos de MCP se contaminan parcialmente con polen normal a fin de facilitar la selección de modificadores con respecto a peso y densidad del grano. Los complejos blancos se pueden contaminar con polen procedente de materiales normales amarillos, en tanto que para los materiales amarillos es necesario desarrollar marcadores de semilla coloreados para exhibir el efecto de la xenia.

En el CIMMYT se mantiene y se mejora continuamente un total de siete complejos de MCP. Cuatro son para zonas tropicales bajas y tres son subtropicales en cuanto a adaptación. En estos complejos se han concluido varios ciclos de selección. Los materiales resultantes de los últimos ciclos son más precoces y de porte más bajo y tienen mejores mazorcas modificadas (Cuadro 7). La calificación media de modificación del endospermo de los granos en los diferentes ciclos se ha mejorado progresivamente en el curso de los ciclos sin afectar de modo adverso la calidad proteínica.

● **Mejoramiento de las poblaciones de MCP en la Unidad Avanzada**

Tres poblaciones de MCP, la 39 (MCP Amarillos), la 40 (MCP Blanco) y la 41 (MCP Templado Amarillo) están sometidas a mejoramiento poblacional. Estas se manejan de manera similar a la de las poblaciones normales de la Unidad Avanzada. Además de dar atención a atributos agronómicos importantes, en las poblaciones de MCP se hace hincapié en

caracteres tales como modificación del fenotipo del grano, estabilidad de los genes modificadores, resistencia a pudriciones de la mazorca, mantenimiento de la calidad proteínica, y otros criterios directos e indirectos que pueden facilitar el mejoramiento de las poblaciones de MCP.

Cuadro 7. Comparación del ciclo original y del último ciclo de selección en dos complejos germoplásicos de maíz de calidad proteínica

Material	Ciclo	Rendimiento	Días a floración	Altura de la planta (cm)	Altura de la mazorca (cm)	Pudrición de mazorcas (o/o)	Modificación del endospermo*
Complejo MCP Amarillo Tropical Cristalino	C ₀	2827	56	208	111	10	3.2
	C ₉	3834	55	203	108	5	2.3
Complejo MCP Templado Tropical (Dentado)	C ₀	4132	60	210	123	2	3.0
	C ₁₀	4340	57	187	105	3	2.2

* Calificado con una escala de 1-5; 1 completamente vítreo, 5 completamente suave

El Cuadro 8 consigna el comportamiento de algunas de las variedades experimentales derivadas de poblaciones de MCP. En varios países, los materiales de MCP están dando rendimientos comparables o mejores que los de materiales normales.

Cuadro 8. Comportamiento del maíz de calidad proteínica (MCP) en países seleccionados (EVT 15A, 1980)

	País-Localidad	Mejor testigo	Rendimiento (ton/ha)	Mejor MCP	o/o de Rendimiento del mejor testigo
1.	Bolivia-Iboperenda	Mez. Trop. Blanca	7.7	Ferke. 7940	99
2.	Brasil-Sete Lagoas	CM-05	6.9	Ferke. 7940/-1	113
3.	Ecuador-Pichilingue	Pichilingue-504	5.6	Poza Rica 7940	107
4.	Venezuela-Durigua	Local Check	3.1	Across 7740	127
5.	Panamá-Tocumen	Tocumen 7428	4.2	Poza Rica 7940	112
6.	Panamá-Chiriqui	Tocumen 7428	4.8	Guanacaste 7940	111
7.	México-Poza Rica	Poza Rica 7643	5.7	Guanacaste 7940	98
8.	México-Obregón	H-510	7.1	Ferke 7940	96
9.	Ghana-Kwadaso	Opaque-2 Comp.	3.7	Poza Rica 7940	111
10.	Mali-Sotuba	IRAT 85	3.9	Guanacaste 7940	127
11.	Mozambique-Nampula	SR 52	3.8	Across 7839	95
12.	Zaire-Kaniama	Kasai I	6.9	Obregon 7940	101
13.	Bangladesh-Jessore	J ₁	9.3	Guanacaste 7940	108
14.	India-Varanasi	E.H. 400175	4.2	Guanacaste 7940	103
15.	Nepal-Rampur	White Flint HEo ₂	8.0	Poza Rica 7940	110

bibliografía

- Ariyanayagam, R.P., C.L. Moore, and V.R. Carangal. 1974. Selection for leaf angle in maize and its effect on grain yield and other characters. *Crop Sci.* 1974: 551-556.
- Bauman, L.F. 1977. Improvement of established maize inbreds. *Maydica XXII*: 213-222. *Crop Sci.* 16:122.
- Compton, W.A., and R.E. Comstock. 1976. More on modified ear-to-row selection in corn. *Crop Sci.* 16:122.
- Comstock, R.E., and H.F. Robinson. 1952. Estimation of average dominance of genes. In *Heterosis*, Iowa State College Press, Ames, Iowa. Pp. 494-516.
- Comstock, R.E. H.F. Robinson, and P. H. Harvey. 1949. A procedure designed to make maximum use of both general and specific combining ability. *Agron. Jour.* 41: 360-367.
- Duvick, D.N. 1977. Genetic rates of gain in hybrid maize yield during the past 40 years. *Maydica XXII*:187-196.
- Eberhart,S.A. 1976. Practical genetics and practical corn breeding. In *Proc. of the International Conference on Quantitative Genetics*, Iowa State University Press, Ames, Iowa. Pp.491-502.
- Gardner, C.O. 1961. An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. *Crop Sci.* 1:241-245.
- Gardner, C.O. 1973. Evaluation of mass selection and of seed irradiation with mass selection for population improvement in maize. *Genetics* 74:588-589.
- Gardner,C.O. 1976. Quantitative genetic studies and population improvement in maize and sorghum. In *Proc. of the International Conference on Quantitative Genetics*, Iowa State University Press, Ames, Iowa. Pp. 475-489.
- Harrison, M.N. 1967. Selection of source material and methods of formation of composites for maize breeding. Paper presented at Eastern African Cereals Research Conference.
- Hull, F.H. 1945. Recurrent selection for specific combining ability in corn. *J. Amer. Soc. Agron.* 37:134-135.
- Jenkins, M.T.1940. The segregation of genes affecting yield of grain in maize. *J. Amer. Soc. Agron.* 32:55-63.
- Johnson, E.C. 1963. Mass selection for yield in a tropical corn variety. *Amer. Soc. Agron. Abst.* P. 82.
- Lonnquist, J.H. 1964. A modification of the ear-to-row procedure for the improvement of maize population. *Crop Sci.* 4:227-228.
- Ortega, A., S.K. Vasal, J. Mihm, and C. Hershey. 1980. Breeding for insect resistance in maize. In *Breeding Plants Resistant to Insects* (Ed. Fowden, G. Maxwell and Peter R. Jennings), John Wiley and Sons, Inc., pp. 371-419.
- Paliwal, R.L. y E.W. Sprague, 1981. Mejoramiento de la adaptación y la confiabilidad de los rendimientos de maíz en el mundo en desarrollo. CIMMYT, El Batán, México.

- Paterniani, E. 1967. Selection among and within half-sib families in a Brazilian population of maize. *Crop Sci.* 7:212-216.
- Paterniani, E. 1978. Phenotypic recurrent selection for prolificacy in maize. *Maydica* XXIII:29-34.
- Sprague, G.F. 1967. Quantitative genetics in plant improvement. In *Plant Breeding*. (Ed. K.J. Frey). The Iowa State University Press, Ames, Iowa, pp. 315-354.
- Vasal, S.K., E. Villegas, and R. Bauer. 1979. Present status of breeding quality protein maize. In *International Symposium on Seed Protein Improvement in Cereals and Grain Legumes*, IAEA., Vol. II, p.p. 127-150.
- Vasal, S.K., E. Villegas, M. Bjarnason, B. Gelaw, and P. Goertz. 1980. Genetic modifiers and breeding strategies in developing hard endosperm opaque-2 materials. In *Improvement of Quality Traits of Maize for Grain and Silage Use* (Ed. W.G. Palmer and R.H. Phipps), Martinus Nijhoff Publishers b.v., pp. 37-73.
- Webel, O.D., and J.H. Lonquist. 1967. An evaluation of the modified eart-to-row selection in population of corn. *Crop Sci.* 7:651-655.

Cita correcta: Vasal, S.K., Ortega, A. y Pandey, S.

Programa de Manejo, Mejoramiento y Utilización del Germoplasma de Maíz en el CIMMYT. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán, México, 1983.

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) recibe apoyo financiero de instituciones gubernamentales de: Arabia Saudita, Australia, Canadá, Dinamarca, España, Estados Unidos, Filipinas, Francia, Holanda, Irlanda, Japón, México, Noruega, República Federal de Alemania, Reino Unido y Suiza; y del Banco Interamericano de Desarrollo, Banco Mundial, Fondo para el Desarrollo Internacional de la OPEP, Fundación Ford, Fundación Rockefeller, Patronato de Sonora (PIEAES) y Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas. La responsabilidad de esta publicación corresponde exclusivamente al CIMMYT.

CENTRO INTERNACIONAL DE MEJORAMIENTO DE MAIZ Y TRIGO
INTERNATIONAL MAIZE AND WHEAT IMPROVEMENT CENTER
Londres 40, Apdo. Postal 6-641, México 06600, D. F., México